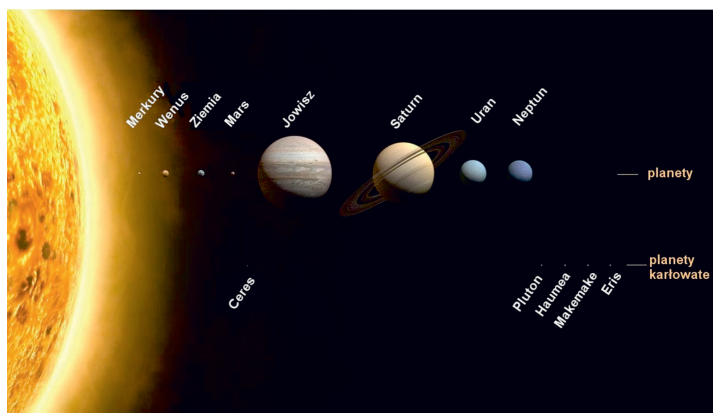


Egzoplanety

Ziemia jest jedną z planet Układu Słonecznego. Oprócz Ziemi wokół Słońca krąży jeszcze siedem planet (Merkury, Wenus, Mars, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun) oraz wiele innych obiektów, spośród których wyróżnia się obecnie pięć tzw. planet karłowatych (Ceres, Pluton, Haumea, Makemake i Eris).



Rys. 1. Układ Słoneczny (commons.wikimedia.org)

W połowie XX wieku spekulowanie na temat istnienia planet wokół gwiazd innych niż Słońce, tzw. *planet pozasłonecznych* lub *egzoplanet*, było wyłącz- nie domeną pisarzy *science-fiction*. W 1980 roku amerykański astronom Carl Sagan w trakcie wykładu dla młodzieży zapowiedział, że w ciągu nadchodzą- cych trzydziestu lat naukowcy będą w stanie stwierdzić, czy najbliższe gwiazdy posiadają planety. Zaledwie osiem lat później odkryto pierwszą egzoplanetę, Tadmor, krążącą wokół Alrai w gwiazdozborze Cefeusza.

Dlaczego tak trudno zaobserwować egzoplanetę?

Poszukiwanie planet pozasłonecznych nie jest łatwe. Przede wszystkim sąsied- nie układy planetarne są położone bardzo daleko od Ziemi. Najbliższy taki układ, wokół Alpha Centauri B, znajduje się w odległości 4,37 lat świetlnych, czyli około $40 \cdot 10^{12}$ km (40 bilionów km) od nas.

Rok świetlny

Rok świetlny jest jednostką długości, a nie czasu, jak sugerowałaby nazwa. Odpowiada on odległości, jaką przebywa światło w czasie jednego roku. Jeden rok świetlny to około $9,5 \cdot 10^{12}$ km (9,5 biliona km).

Dodatkowo, w przeciwieństwie do gwiazd, planety nie emitują światła. Odbijają jedynie światło gwiazdy, wokół której krążą. Są więc od niej dużo ciemniejsze. Żeby uzmysłwić sobie skalę problemu, z jakim borykają się po- szukiwacze planet pozasłonecznych, obserwację egzoplanety w najbliższym układzie planetarnym można porównać np. do oglądania cmy krążącej wokół

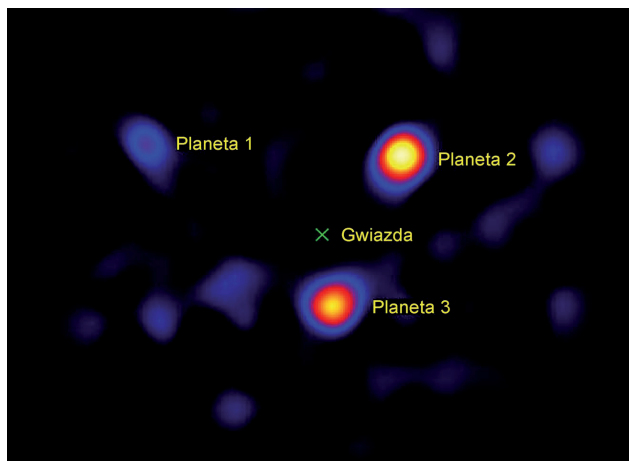
lampy w Egipcie z... okolic koła podbiegunowego w północnej Norwegii. Z tego powodu bezpośrednia obserwacja egzoplanet jest możliwa jedynie w bar-



Rys. 2. Zdjęcie Słońca wykonane przy użyciu koronografu (commons.wikimedia.org)

dzo szczególnych warunkach. Ponieważ głównym problemem jest w tym wypadku dominujący blask gwiazdy, można go wyeliminować montując na teleskopie specjalny przyrząd, zwany koronografem. W najprostszej wersji może mieć on kształt zwykłej przesłony, lecz w profesjonalnych koronografach wykorzystuje się skomplikowane zestawy soczewek lub masek, pozwalających na uniknięcie zniekształceń obrazu.

Jeśli planeta jest duża, znajduje się stosunkowo daleko od gwiazdy i odbija dużo światła, to teleskop wyposażony w koronograf umożliwia wykonanie obrazu planety. W ten sposób udało się bezpośrednio sfotografować trzy planety krążące wokół gwiazdy HR8799.

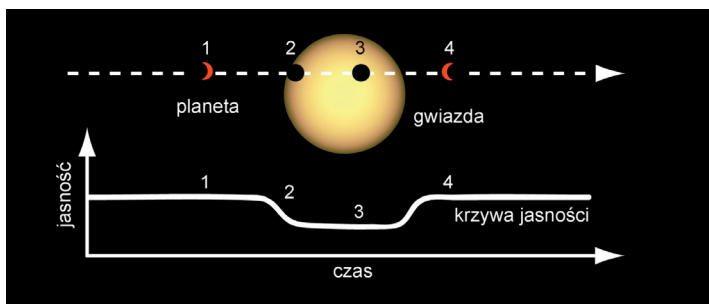


Rys. 3. Obraz trzech planet krążących wokół gwiazdy HR8799. Pozycję gwiazdy, której światło zostało odcięte przy użyciu koronografu, zaznaczono zielonym krzyżykiem (commons.wikimedia.org)

Skoro bezpośrednie obserwacje planet są bardzo trudne, to czy możliwe jest zaobserwowanie jakichś zjawisk pozwalających podejrzewać obecność planet wokół badanych gwiazd? Okazuje się, że istnieje wiele metod opartych na obserwacji światła docierającego z gwiazd, dzięki którym można wykazać istnienie towarzyszących im egzoplanet. Porównanie wyników różnych pośrednich metod, opisanych poniżej, pozwoliło jak dotąd (marzec 2016) na potwierdzenie istnienia około 2000 egzoplanet.

Metoda tranzytowa

Wyobraźmy sobie planetę krążącą wokół odległej gwiazdy. Jeśli kierunek, pod jakim obserwujemy gwiazdę jest odpowiedni, to w regularnych odstępach czasu planeta będzie przecinać linię obserwacji, przesłaniając nieco znajdującą się za nią gwiazdę i zmniejszając w niewielkim stopniu jej jasność. Obserwacja regularnego przyciemnienia światła gwiazdy pozwala więc wnioskować o istnieniu krążącej wokół niej planety.



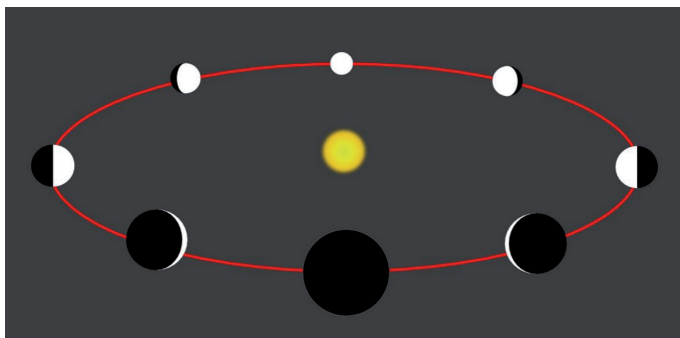
Rys. 4. Metoda tranzytowa. Obserwacja zmian jasności gwiazdy pozwala na detekcję planety przesuwającej się przed jej tarczą (commons.wikimedia.org)

Jeśli dodatkowo znana jest średnica gwiazdy oraz promień orbity, na której znajduje się planeta, to ze stopnia przyciemnienia światła gwiazdy można z grubsza oszacować wielkość planety.

Stosowanie metody tranzytowej możliwe jest tylko wówczas, gdy planeta przecina linię obserwacji gwiazdy. Uniemożliwia to jej wykorzystanie w przypadku, gdy orbita planety jest znacznie nachylona w stosunku do kierunku obserwacji. Dodatkowo, jeśli planeta jest niewielka lub krąży w dużej odległości od gwiazdy, zmiany jasności mogą być niedostrzegalne. Z tego powodu metoda ta nadaje się do detekcji stosunkowo dużych egzoplanet krążących blisko gwiazdy.

Fotometria światła emitowanego i odbitego

W czasie ruchu planety wokół gwiazdy ilość odbitego od planety światła zmienia się cyklicznie. Dzięki temu możemy obserwować fazy planet, podobne do faz Księżyca.



Rys. 5. Fazy planety krążącej wokół gwiazdy (commons.wikimedia.org)

Ze względu na olbrzymie odległości dzielące nas od sąsiednich układów planetarnych nie jesteśmy w stanie zaobserwować bezpośrednio poszczególnych faz planet. Przyrządy rejestrujące światło docierające z odległego układu planetarnego mierzą jedynie sumę światła emitowanego przez gwiazdę oraz odbitego przez krążącą wokół niej planetę. Jeśli jednak planeta jest wystarczająco duża i krąży w niewielkiej odległości od gwiazdy, to regularne zmiany jasności są wystarczająco duże, żeby móc je zaobserwować. Dzięki tej metodzie można wykryć planety, których orbita nie przecina linii obserwacji gwiazdy.

Efekt Dopplera

Powszechnie przedstawiany model Układu Słonecznego zakłada, że planety poruszają się wokół nieruchomego Słońca. W rzeczywistości sytuacja jest nieco bardziej skomplikowana. Ze względu na przyciąganie grawitacyjne planet, położenie Słońca ulega ciągłym zmianom. Siła przyciągania grawitacyjnego zależy od mas oddziałujących ciał niebieskich oraz odległości pomiędzy ich środkami mas.

Siła przyciągania grawitacyjnego

Wartość siły przyciągania grawitacyjnego działającego pomiędzy dwiema jednorodnymi kulami jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas oddziałujących kul i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości pomiędzy ich środkami.

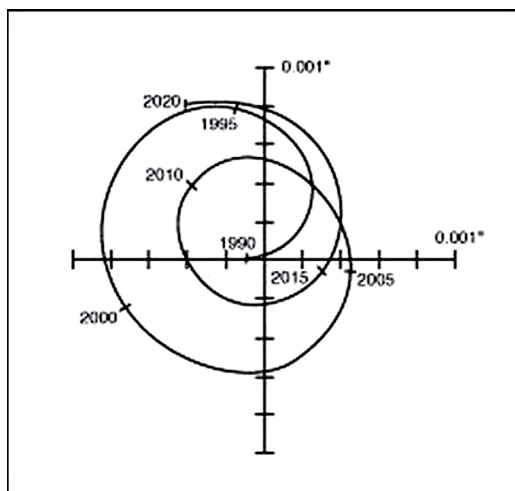
$$F_G = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

m_1, m_2 – masy oddziałujących kul

r – odległość pomiędzy środkami kul

G – stała grawitacji, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

W przypadku Układu Słonecznego największy wpływ na położenie Słońca ma Jowisz, gdyż ze wszystkich planet naszego układu ma on największą masę.

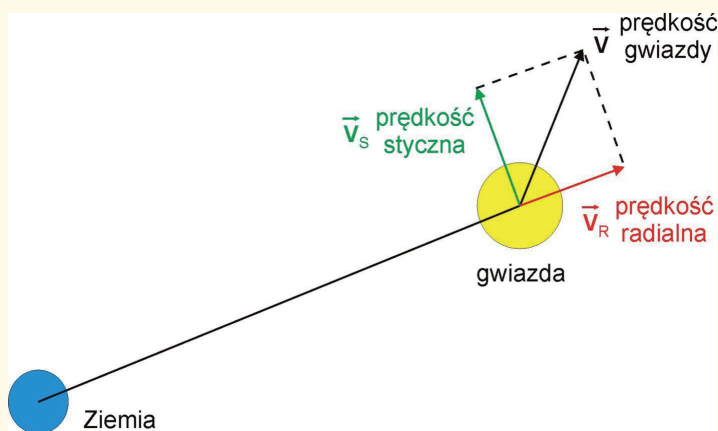


Rys. 6. Symulacja zmian położenia Słońca pod wpływem przyciągania Jowisza (przesunięcie astrometryczne w stopniach). Na różnych punktach krzywej zaznaczono wybrane lata (<http://planetquest.jpl.nasa.gov/page/methods>)

Jeśli założyć dla uproszczenia, że w badanym układzie planetarnym znajduje się pojedyncza egzoplaneta, to bardzo dokładne pomiary zmian położenia gwiazdy pozwalają naukowcom oszacować masę znajdującą się w układzie egzoplanety oraz wyznaczyć jej przybliżoną orbitę. Może się wydawać, że takie badanie niewielkich ruchów gwiazdy, która znajduje się bardzo daleko od nas, jest niesłychanie trudne. Astronomowie dysponują jednak bardzo dokładnym narzędziem pozwalającym mierzyć tzw. prędkość radialną dowolnej gwiazdy.

Prędkość radialna

Prędkość radialna to składowa prędkości ciała mierzona wzdłuż kierunku od obserwatora do poruszającego się ciała.



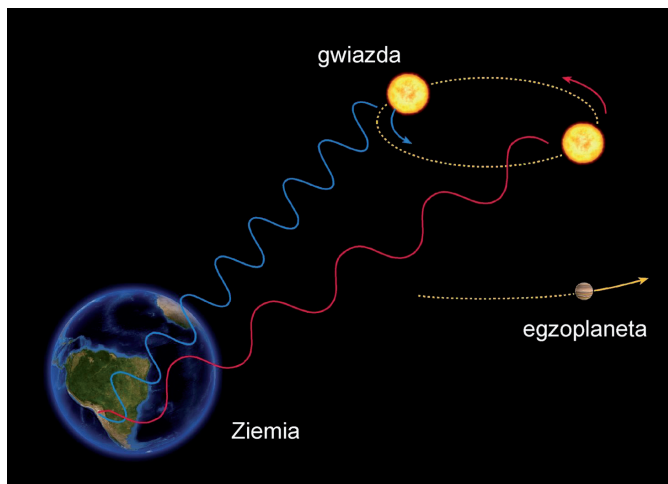
Rys. 7. Schemat rozkładu prędkości gwiazdy (opracowanie własne)

Metoda ta wykorzystuje efekt Dopplera, czyli zmianę częstotliwości rejestrowanych fal, wynikającą z ruchu źródła fal (dźwiękowych, elektromagnetycznych) lub obserwatora. Efekt ten często możemy zauważyć w życiu codziennym. Dźwięk syreny karetki pogotowia słyszymy jako wyższy, gdy karetka zbliża się do nas, a niższy – gdy karetka się oddala. Wysokość dźwięku jest związana z częstotliwością fali. Im większa jest częstotliwość, tym wyższy jest dźwięk. Tak więc częstotliwość zbliżającego się źródła fali wydaje się nam większa, a oddalającego się mniejsza niż częstotliwość emitowana przez źródło w spoczynku. W przypadku obserwacji światła, zmiana częstotliwości odpowiada zmianie koloru.



Rys. 8. Widmo światła widzialnego (opracowanie własne)

Jeśli gwiazda porusza się w kierunku Ziemi, to obserwowana przez nas częstotliwość światła jest większa, co oznacza, że jej kolor przesunięty jest w kierunku fioletu. Natomiast światło rejestrowane podczas oddalania się gwiazdy ulega przesunięciu w kierunku niższych częstotliwości, co odpowiada przesunięciu w kierunku czerwieni.

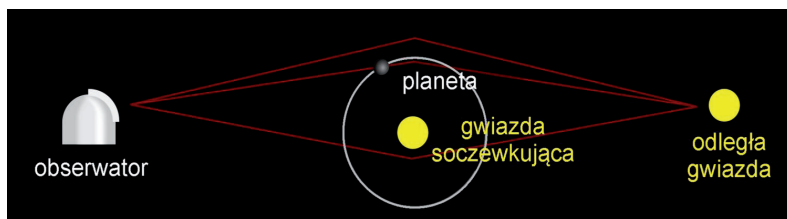


Rys. 9. Efekt Dopplera dla światła gwiazdy na przemian oddalającej się i zbliżającej do obserwatora znajdującego się na Ziemi (commons.wikimedia.org)

Przesunięcie częstotliwości zależy od prędkości radialnej gwiazdy. Na podstawie pomiarów obserwowanej częstotliwości światła można w ten sposób wyznaczyć prędkość ruchu gwiazdy. Jeśli więc podejrzewa się, że ruch ten wywołany jest obecnością planety, obserwacje takie pozwalają na określenie jej masy. Metoda ta sprawdza się w przypadku stosunkowo dużych planet, ponieważ wpływają one znacząco na ruch gwiazdy.

Mikrosoczewkowanie grawitacyjne

Zgodnie z przewidywaniami Ogólnej Teorii Względności światło porusza się po linii prostej tylko w całkowicie pustej przestrzeni. Promień światła ulega natomiast zakrzywieniu w pobliżu obiektów o dużej masie, takich jak gwiazdy. Efekt ten nosi nazwę mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Wyobraźmy sobie gwiazdę (tzw. gwiazdę soczewkującą) znajdującą się na linii pomiędzy Ziemią i inną, dalej położoną gwiazdą.



Rys. 10. Soczewkowanie mikrograwitacyjne (commons.wikimedia.org)

Światło wysyłane przez odległą gwiazdę ulega zakrzywieniu w pobliżu gwiazdy soczewkującej. Powoduje to skupienie światła wysyłanego przez odległą gwiazdę i zwiększenie jej jasności. Jeśli gwiazda soczewkująca posiada krążącą wokół niej planetę, to może ona w niewielki, ale wykrywalny sposób zaburzyć efekt soczewkowania. Aby to nastąpiło, konieczne jest jednak bardzo szczególne położenie planety. Dlatego ta metoda poszukiwania egzoplanet wymaga ciągłej obserwacji dużego fragmentu nieba w oczekiwaniu na odpowiednią konfigurację planety oraz obydwu gwiazd. Pierwsze planety pozasłoneczne wykryte tą metodą zostały zaobserwowane w ramach polskiego projektu OGLE.

Przyszłość poszukiwań egzoplanet

Liczba odkrywanych każdego roku egzoplanet rośnie bardzo szybko. Do tej pory zorganizowano dwie misje kosmiczne poświęcone poszukiwaniom planet pozasłonecznych (COROT i Teleskop Kosmiczny Kepler), a kilka kolejnych jest w fazie planów. Badaczom zależy na zebraniu jak największej ilości informacji o nowo odkrytych planetach, a szczególnie o panujących na ich powierzchniach warunkach. Może jedna z nich jest miejscem, gdzie rozwija się życie podobne do tego na Ziemi? Gwałtowny rozwój wspomnianej gałęzi astronomii w ostatnich latach pozwala przypuszczać, że odkrycia w tej dziedzinie mogą jeszcze przynieść wiele niespodzianek.

KC

Redakcja poleca:

Jet Propulsion Laboratory <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>